Opérateur CALC_NO

1 But

Enrichir une structure de données resultat par des options de post-traitement. Il s'agit notamment des options forces nodales, réactions d'appui et plus généralement toutes les options de grandeurs élémentaires aux nœuds (options xxxx_NOEU_xxxx) transformant un cham_elem aux nœuds en un chamno.

2 S yntaxe

```
resu      [*]    = CALC_NO

    (  ◊   reuse= resu,
       ♦   RESULTAT         =   resu,  /[evol_elas]     /   [mode_stat_depl]
                                       /[evol_noli]     /   [mode_stat_acce]
                                       /[evol_ther]     /   [mode_stat_forc]
                                       /[mult_elas]     /   [mode_stat]
                                       /[fourier_elas]  /   [mode_acou]
                                       /[mode_flamb]    /   [dyna_trans]
                                       /[base_modale]   /   [dyna_harmo]
                                       /[mode_meca]     /   [acou_harmo]
                                       /[fourier_ther]

       ◊   /   TOUT_ORDRE   =   'OUI'  ,                    [DEFAUT]
           /   NUME_ORDRE   =   l_nuor ,                    [l_I]
           /   LIST_ORDRE   =   l_ordr ,                    [listis]
           /   NOEUD_CMP    =   l_mode ,                    [l_Kn]
           /   NUME_MODE    =   l_numo ,                    [l_I]
           /   NOM_CAS      =   nomcas ,                    [Kn]
           /   /   INST =          l_inst ,                 [l_R]
               /   LIST_INST    =  l_inst ,                 [listr8]
               /   FREQ =          l_freq ,                 [l_R]
               /   LIST_FREQ    =  l_freq ,                 [listr8]
           /   CRITERE      = 'RELATIF',                    [DEFAUT]
                  ◊ PRECISION  =  /  prec,                  [R]
                                  /  1.0D-6 ,               [DEFAUT]
           /   CRITERE      = 'ABSOLU',
                  ♦ PRECISION  =     prec,                  [R]
       ◊   /   TOUT         =   'OUI'  ,
           /   MAILLE       =   lma    ,                    [l_maille]
           /   GROUP_MA     =   lgma   ,                    [l_gr_maille]

       ♦   OPTION =  |   |   'FORC_NODA' ,
                         |   'REAC_NODA' ,
                         ◊   MODELE =        modele ,       [modele]
                         ◊   CHAM_MATER   =  chmater,       [cham_mater]
                         ◊   CARA_ELEM    =  carac  ,       [cara_elem]
                         ◊   EXCIT  = _F (
                                ◊   CHARGE  = charge ,  /   [char_meca]
                                                        /   [char_ther]
                                                        /   [char_acou]
                                ◊   FONC_MULT  = coef,      [fonction/formule]
                                ◊   TYPE_CHARGE= / 'FIXE_CSTE'    [DEFAUT]
                                                 / 'FIXE_PILO'
                                                 / 'SUIV'
                                      ),
```

```
                  |   |   'EFGE_NOEU' ,
                      |   'EPSI_NOEU' ,
                      |   'SIGM_NOEU' ,
                      |   'SIPO_NOEU' ,
                      |   'SIEQ_NOEU' ,
                      |   'EPEQ_NOEU' ,
                      |   'EPMQ_NOEU' ,
                      |   'FLUX_NOEU' ,
                      |   'SIEF_NOEU' ,
                      |   'VARI_NOEU' ,
                      |   'PRAC_NOEU' ,
                      |   'INTE_NOEU' ,
                      |   'META_NOEU' ,
                      |   'DERA_NOEU' ,
                      |   'ENDO_NOEU' ,
                      |   'ERRE_NOEU' ,
                      |   'DEGE_NOEU' ,
                      |   'EPSG_NOEU' ,
                      |   'DURT_NOEU' ,
                      |   'ENEL_NOEU' ,
                      |   'EPMG_NOEU' ,
                      |   'EPSP_NOEU' ,
                      |   'EPFP_NOEU' ,
                      |   'EPFD_NOEU' ,
                      |   'EPVC_NOEU' ,
                      |   'HYDR_NOEU' ,
                      |   'SIGM_NOEU' ,
                      |   'SIPO_NOEU' ,
                      |   'VAEX_NOEU' ,
                      |   'VAEX_ELNO' ,
                      |   'ERME_NOEU' ,
                      |   'ERTH_NOEU' ,
                      |   'QIRE_NOEU' ,

  )
Si RESULTAT =[typeres]   alors   [*] ->   [typeres]
```

3 Opérandes

3.1 Opérande RESULTAT

♦ RESULTAT = resu

Nom du résultat enrichi dans la commande.

3.2 Opérandes TOUT_ORDRE / NUME_ORDRE / LIST_ORDRE / NUME_MODE/ NOEUD_CMP / NOM_CAS / INST / LIST_INST / FREQ / LIST_FREQ / PRECISION / CRITERE

Voir [U4.71.00] pour la description de ces opérandes.

3.3 Opérandes TOUT / GROUP_MA / MAILLE

◊ TOUT = 'OUI' ,

Les options sont calculées sur tout le maillage.

◊ GROUP_MA = lgma ,

Les options sont calculées sur les groupes de mailles contenus dans la liste lgma.

◊ MAILLE = lma ,

Les options sont calculées sur les mailles contenues dans la liste lma.

3.4 Opérande OPTION : 'FORC_NODA' / 'REAC_NODA'

♦ OPTION ='FORC_NODA'

Option de calcul des forces nodales généralisées à partir des contraintes généralisées aux points de Gauss.

Le calcul se fait de la façon suivante :

$$\int_{\Omega} \sigma \, \varepsilon(\boldsymbol{u}) d\,\Omega = \sum_K \int_K \sigma^K \varepsilon(\boldsymbol{u_K}) dK = \sum_K \int_K \sigma^K \boldsymbol{B}\, \boldsymbol{u_K} dK$$

avec σ_K contraintes aux points de Gauss de l'élément K .
$\boldsymbol{B}$ l'opérateur éléments finis de déformations généralisées.
$\boldsymbol{u_K}$ déplacement élémentaire généralisé.

$$= \sum_K F_K \boldsymbol{u_K} \text{ avec } F_K = \left\{ \int_K {}^t\boldsymbol{B}\, \sigma^K dK \right\} \text{ les forces nodales généralisées}$$

où B est la matrice reliant les déformations du 1er ordre aux déplacements.

La dimension des forces nodales est duale de celle des $\boldsymbol{u_K}$ pour donner un travail (en Joules).

Pour les éléments de poutre et les éléments discrets, les contraintes aux points de Gauss sont en fait les efforts nodaux généralisés dans le repère de l'élément (obtenus par le produit de la matrice de rigidité de l'élément par le déplacement et en tenant compte des efforts d'origine thermique et des efforts répartis). Le calcul des forces nodales se fait en projetant les efforts nodaux contenus dans le champ de nom symbolique 'SIEF_ELGA' dans le repère global. La sommation ci-dessus sur les éléments s'applique ensuite. Les composantes DX, DY et DZ donnent les forces et DRX, DRY et DRZ les moments.

Pour les éléments axisymétriques, l'intégration en theta se fait sur un secteur de $1\,radian$. Si on veut l'intégrale de l'effort surfacique sur tout le disque il faut donc multiplier par 2π .

Pour les éléments en déformation plane, le calcul est fait sur une bande de largeur unité. Les forces nodales calculées sont donc en fait des forces par unité de longueur. Si on veut calculer les forces nodales s'exerçant sur une structure de largeur l , il faut multiplier le résultat en `D_PLAN` par l , à ceci près que l'hypothèse de déformation plane n'est pas valide près des deux faces. On aura donc un résultat approximatif.

La présence du champ de nom symbolique '`SIEF_ELGA`' est obligatoire dans le concept résultat `resu`, de même que le nom du modèle sous-jacent à ce champ.

Pour les éléments massifs (3D, 2D et barres), les `FORC_NODA` en général ont la dimension d'une force. Il s'agit d'un champ sur les nœuds du maillage où la valeur en un nœud est obtenue à partir des contraintes calculées sur les éléments concourants à ce nœud, ainsi leurs valeurs varient donc lorsque le maillage change. En l'absence de chargement réparti, l'équilibre impose leur nullité en un nœud intérieur, tandis qu'elles correspondent à la réaction sur les appuis où l'on impose une relation cinématique (cas d'un déplacement imposé).

Dans le cas des coques, les composantes `DX`, `DY` et `DZ` donnent les `FORC_NODA` (de dimension d'une force) dans le repère global du maillage. Ces composantes sont construites avec les efforts normaux et tranchants dans la coque. Les composantes `DRX`, `DRY` et `DRZ` donnent les `FORC_NODA` (de dimension d'un moment) dans le repère global du maillage, construites avec les moments fléchissants dans la coque.

En hydraulique, les forces nodales généralisées associées à chaque composante correspondent à un flux. Si on note $\mathbf{Q}^T\boldsymbol{\sigma}_0$ le résultat de `FORC_NODA`, pour les équations hydrauliques, alors pour un pas de temps Δt , on a :

$$\int_\Omega \mathbf{Q}^T\boldsymbol{\sigma}_0\, p^*\, d\,\Omega = -\Delta t \int_\Omega \mathbf{M}^- \nabla\, p^*\, d\,\Omega$$

Dans `FORC_NODA` :

–le degré de liberté `PRE1` est associé le flux d'eau $-\Delta t \int_\Omega \boldsymbol{M}_{vp} + \boldsymbol{M}_w{}^- \nabla\, p^*\, d\,\Omega$

–le degré de liberté `PRE2` est associé le flux du composant gazeux $-\Delta t \int_\Omega \boldsymbol{M}_{ad} + \boldsymbol{M}_{as}{}^- \nabla\, p^*\, d\,\Omega$

–le degré de liberté `TEMP` est associé le flux thermique $-\Delta t \int_\Omega \boldsymbol{q}^- \nabla\, T^*\, d\,\Omega$

avec $\boldsymbol{q}$ le flux thermique et $\boldsymbol{M}_w$, $\boldsymbol{M}_{vp}$, $\boldsymbol{M}_{as}$ et $\boldsymbol{M}_{ad}$ les flux hydrauliques de l'eau liquide, de la vapeur, de l'air (ou tout autre composant) sec et de l'air dissous dans le liquide. Ces données correspondent aux contraintes généralisées de *Code_Aster* $M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}$.

♦ `OPTION ='REAC_NODA'`

Option de calcul des forces nodales de réactions généralisées aux nœuds, à partir des contraintes généralisées aux points de Gauss.

Pour les concepts résultat de type `evol_elas`, `mult_elas`, `fourier_elas` ou `evol_noli`, ce calcul se fait par :

$$\int_\Omega \sigma\,\varepsilon(\boldsymbol{u})\,d\,\Omega - \boldsymbol{L}(\boldsymbol{u})$$

avec $\boldsymbol{L}(\boldsymbol{u}) = \int_\Omega \boldsymbol{f}\cdot\boldsymbol{u}\,d\,\Omega + \int_\Gamma \boldsymbol{F}_s\cdot\boldsymbol{u}\,d\,\Gamma + \sum_i \boldsymbol{F}_i\boldsymbol{u}_i$

où $\boldsymbol{f}$ sont les forces volumiques

$\boldsymbol{F}_s$ les forces généralisées surfaciques
$\boldsymbol{F}_i$ les forces ponctuelles au nœud i

Si on note $\boldsymbol{R}_K$ le vecteur des réactions nodales sur l'élément K, on a à partir des forces nodales généralisées :

$$\boldsymbol{R}_K=\boldsymbol{F}_K-\int_K \boldsymbol{f}\, dK-\int_{\partial K} \boldsymbol{F}\, \partial K-\sum_i \boldsymbol{F}_i$$

autrement dit on retranche aux forces nodales les forces extérieures appliquées à l'élément K.

A noter que le changement température ne figure pas dans les forces extérieures.

En dynamique, pour obtenir les réactions nodales, il convient d'ôter de surcroît les efforts d'inertie (accélération) et d'amortissement (vitesse). Actuellement dans *Code_Aster* les effets de l'amortissement sur les réactions nodales sont négligés.

Pour les concepts résultat de type `mode_meca`, (issus de calculs modaux) la formule est :

$$\int_\Omega \sigma\, \varepsilon(\boldsymbol{u})\, d\,\Omega-\omega^2 \boldsymbol{M}\, \boldsymbol{u}$$

où $\boldsymbol{M}$ est la matrice de masse
ω la pulsation propre
$\boldsymbol{u}$ le champ de déplacement

Pour les concepts résultat de type `dyna_trans` issus de calculs dynamiques transitoires linéaires (`DYNA_LINE_TRAN`, ou `DYNA_TRAN_MODAL` par le biais de `REST_GENE_PHYS`), de type `dyna_harmo` issus de calculs harmoniques (`DYNA_LINE_HARM`) ou de type `evol_noli` issus de calcul dynamiques transitoires non-linéaires (`DYNA_NON_LINE`) l'expression est:

$$\int_\Omega \sigma\, \varepsilon(\boldsymbol{u})\, d\,\Omega-\boldsymbol{M}\, \ddot{\boldsymbol{u}}-\boldsymbol{L}(\boldsymbol{u})$$

où $\boldsymbol{M}$ est la matrice de masse
$\ddot{\boldsymbol{u}}$ le champ d'accélération

Remarque:

Les réactions nodales sont nulles en tout point intérieur du modèle et ne sont pas nulles a priori *en un point du bord soumis à une condition aux limites cinématique.*
Toutefois le fait de négliger l'apport de l'amortissement en dynamique peut créer un léger écart par rapport au résultat exact.

Voir également les exemples [§3.9].

Remarque:

Si le mot clé `GROUP_MA` est renseigné, les options `'FORC_NODA'` et `'REAC_NODA'` sont calculées ainsi:
F_K *est calculé uniquement sur les éléments demandés puis assemblé. Le résultat est différent d'un calcul global sur tout le domaine puis réduit aux éléments demandés. La méthode implantée permet de mesurer la réaction d'un morceau de modèle sur un autre (voir exemples [§3.9]).*

3.4.1 Opérande MODELE

◊ `MODELE= mo,`

Nom du modèle sur lequel sont calculées les options.

3.4.2 Opérande CHAM_MATER

◊ CHAM_MATER = chmater,

Nom du champ de matériau où sont définies les caractéristiques de matériau des éléments. Cet argument est nécessaire pour le calcul des réactions (option 'REAC_NODA'), qui nécessite le calcul préalable du vecteur élémentaire des chargements.

3.4.3 Opérande CARA_ELEM

◊ CARA_ELEM = carac,

Le concept des caractéristiques élémentaires de type cara_elem est nécessaire pour le calcul des forces nodales ou des réactions, s'il existe dans le modèle des éléments de structure.

3.4.4 Opérande EXCIT

◊ EXCIT = _F Pour le calcul de REAC_NODA uniquement:

Mot clé facteur permettant de définir les différents chargements qui ont permis de calculer le champ de contraintes aux points de GAUSS.
On définit un concept de type charge par occurrence du mot clé EXCIT.

3.4.4.1 Opérande CHARGE

◊ CHARGE = charge,

Nom d'un concept de type charge, pour le calcul du vecteur élémentaire associé. Nécessaire pour le calcul des réactions nodales.

3.4.4.2 Opérande FONC_MULT

◊ FONC_MULT = coef,

Nom d'un concept de type fonction fournissant la valeur du facteur multiplicateur de la charge.

3.4.4.3 Opérande TYPE_CHARGE

◊ TYPE_CHARGE =	/ 'FIXE_CSTE',	charge fixe (défaut)
	/ 'FIXE_PILO',	charge pilotée (amplitude réelle stockée dans la SD evol_noli)
	/ 'SUIV',	charge suiveuse

Dans le cas où le résultat provient d'un calcul non linéaire avec pilotage, il faut pour calculer l'option REAC_NODA, indiquer sous EXCIT à la fois les charges fixes de type ('FIXE_CSTE') et les charges pilotées de type ('FIXE_PILO'). En effet, l'amplitude η de ces dernières est un paramètre de la SD evol_noli et sera récupéré par le code afin de reconstruire le vrai chargement :

$L(v)=L^{fixe}+\eta L^{pilo}$ (cf. document [R5.03.01] de l'opérateur STAT_NON_LINE).

Pour éviter de se poser des questions, on suggère de recopier dans CALC_NO le bloc EXCIT ayant été utilisé pour le calcul non linéaire ayant produit le résultat: ainsi on est sûr de ne pas oublier de charges.

3.5 Opérandes TOUT / GROUP_MA / MAILLE

◊ TOUT = 'OUI' ,

Les options sont calculées sur tout le maillage.

◊ GROUP_MA = lgma ,

Les options sont calculées sur les groupes de mailles contenus dans la liste `lgma`.

◊ `MAILLE = lma ,`

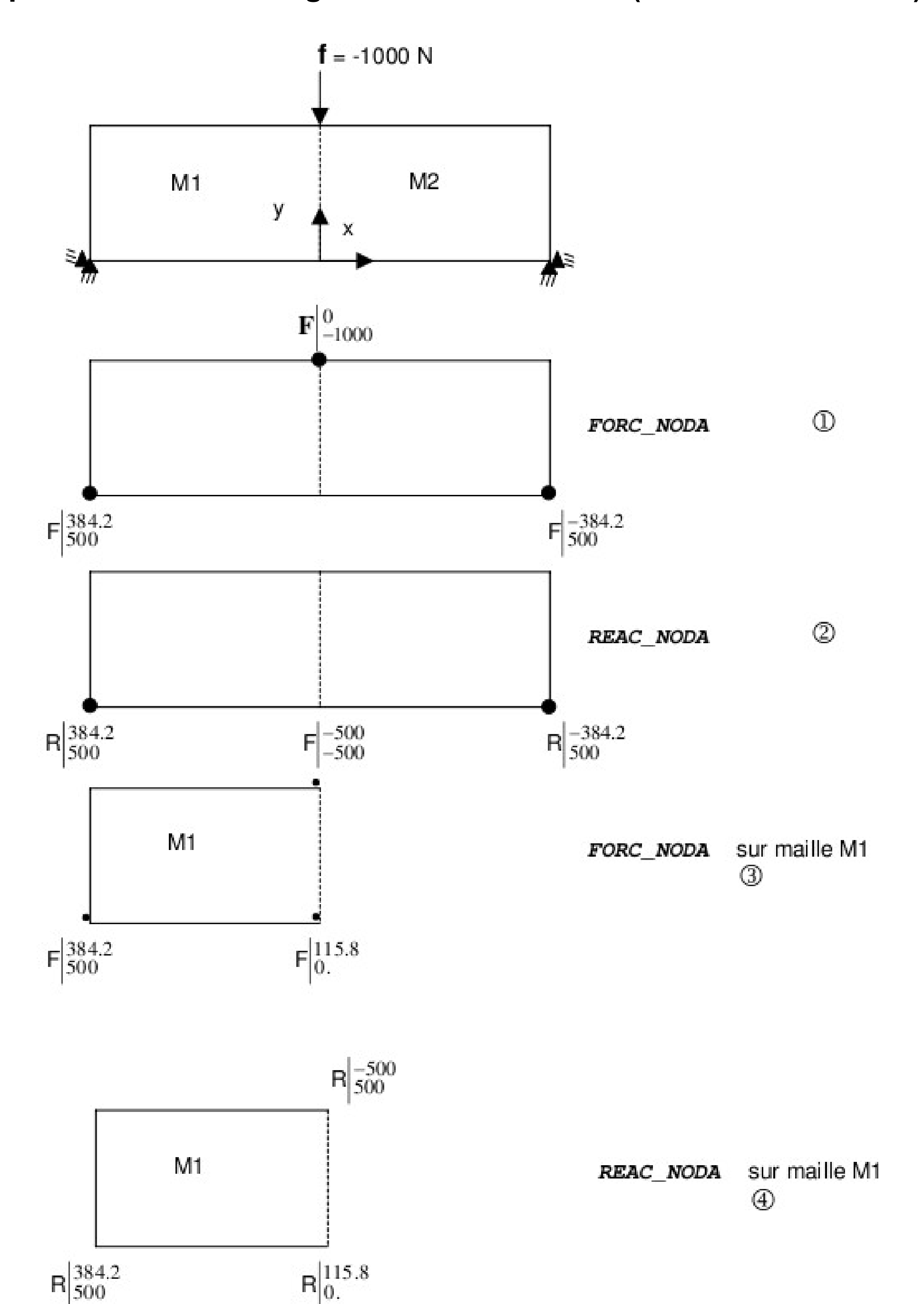
Les options sont calculées sur les mailles contenues dans la liste `lma`.

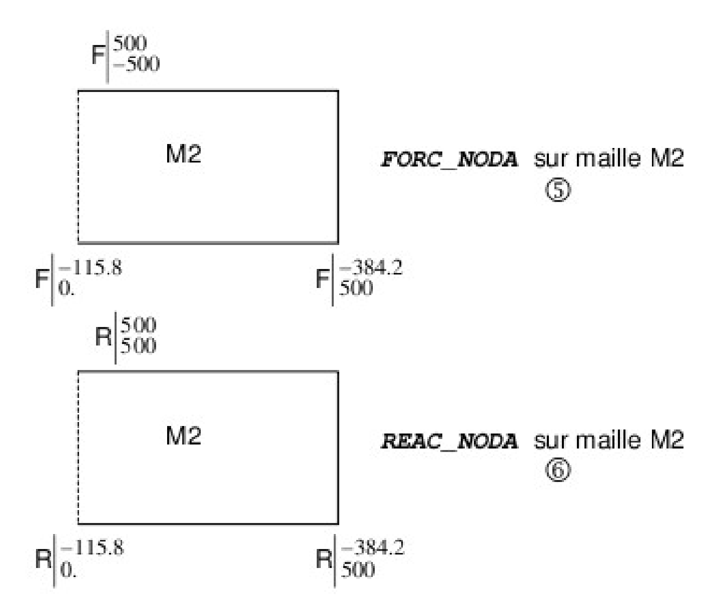
Remarque:

Si le mot clé `GROUP_MA` est renseigné, les options `'FORC_NODA'` et `'REAC_NODA'` sont calculées ainsi:
F_K est calculé uniquement sur les éléments demandés puis assemblé. Le résultat est différent d'un calcul global sur tout le domaine puis réduit aux éléments demandés. La méthode implantée permet de mesurer la réaction d'un morceau de modèle sur un autre (voir exemples [§3.4.6]).

3.6 Exemples

3.6.1 Exemple 1: Structure chargée avec force nodale (2 éléments QUAD4)





Sur cet exemple, les réactions aux nœuds (2) sont bien égales aux forces nodales (1) moins le chargement. Elles représentent les réactions aux appuis de la structure.

Si on restreint le calcul à la maille $M1$, les forces (3) aux nœuds appartenant à la frontière entre $M1$ et $M2$ sont différentes. Elles représentent la réaction du modèle formé de $M1$ au modèle formé de $M2$. A noter que le chargement nodal est divisé par 2 car les 2 mailles y contribuent. Les réactions nodales (4) sont encore égales aux forces nodales moins le chargement.

Sur le calcul restreint à la maille $M2$, les forces nodales (5) suivant OX sont de signe contraire au calcul restreint à la maille $M1$, illustrant le principe de l'action et la réaction.

3.6.2 Exemple 2: Structure avec chargement température

Données :

$E=1.10^9\,\mathrm{Pa}$

$\nu=0.3$

$\alpha=1.10^{-6}$

Résultats :

$F_y=-3.410^4\,N$

$F_{1x}=7.8\,10^3\,N$

$F_{2x}=-1.2\,10^3\,N$

Sur cet exemple, les forces nodales et les réactions nodales coïncident car le seul chargement est un chargement température.

Si on restreint le calcul à la maille $M2$, les forces suivant OY restent les mêmes mais sont différentes suivant OX .

3.7 Opérande `OPTION`

Les options de calcul transformant un champ par élément aux nœuds en un champ aux nœuds, en faisant une moyenne arithmétique simple (non pondérée par la taille des mailles) des valeurs rencontrées sur les éléments en un nœud donné. Ces champs par éléments aux nœuds doivent avoir été calculés auparavant et donc figurer dans l'objet resu.

Les commandes calculant et documentant ces champs sont:

CALC_ELEM [U4.81.01] pour les champs relatifs aux options:

```
'DERA_NOEU'                                  'HYDR_NOEU'
'DEGE_NOEU'                                  'INTE_NOEU'
'DURT_NOEU'                                  'PRES_NOEU'
'EFGE_NOEU'
'ENEL_NOEU'                                  'SIGM_NOEU'
'ENDO_NOEU'                                  'SIPO_NOEU'
'EPMG_NOEU'                                  'VAEX_NOEU'
'EPSI_NOEU'                                  'EPFP_NOEU'
'EPSG_NOEU'                                  'EPFD_NOEU'
'EPSP_NOEU'                                  'EPVC_NOEU'
'EPEQ_NOEU'
'EPMQ_NOEU'
'SIEQ_NOEU'
'ERME_NOEU'
'FLUX_NOEU'
'ERME_NOEU'
'ERTH_NOEU'
'QIRE_NOEU'
```

STAT_NON_LINE [U4.51.03] pour les champs relatifs aux options:

```
'SIEF_NOEU'                                  'VARI_NOEU'
```

CALC_META [U4.85.01] pour le champ:

```
'META_NOEU'
```

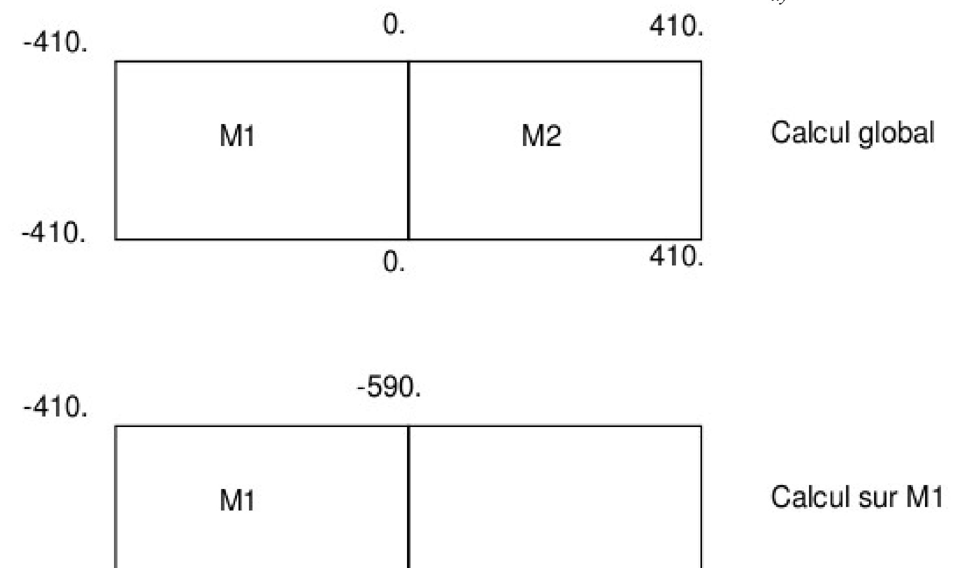
Remarque 1:

Les moyennations aux nœuds de champs calculés dans des repères locaux ne sont licites que si les angles entre ces repères sont faibles. Dans le cas contraire, elles n'ont pas de sens.

Remarque 2:

Les mot clés `GROUP_MA` et `MAILLE` s'appliquent également au calcul de ces options. Dans ce cas, la moyenne arithmétique est faite sur les mailles demandées. Là encore, le calcul local est différent du calcul global.

Exemple: en reprenant l'exemple 1 du [§3.4.6], la contrainte de cisaillement σ_{xy} *vaut:*



Dans le calcul global, σ_{xy} *est nulle sur* $M1 \wedge M2$ *comme moyenne de 2 valeurs opposées. Ces valeurs sont loin d'être nulles, comme le montre le calcul sur* $M1$ *seul. Les valeurs sur la frontière du domaine demandé sont donc à interpréter avec précaution.*